

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta stavební

Konstrukce a dopravní stavby



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**ŽIVOTNÍ CYKLUS GEOSYNTETIK  
V PRAŽCOVÉM PODLOŽÍ A NAKLÁDÁNÍ S NIMI  
PO SKONČENÍ JEJICH ŽIVOTNOSTI**

Vyhotovil: Lukáš Vondra

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Leoš Horníček, Ph.D.

Praha 2016



## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

### **I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE**

Příjmení: Vondra	Jméno: Lukáš	Osobní číslo: 380817
Zadávající katedra: Katedra železničních staveb		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby		

### **II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI**

Název bakalářské práce: Životní cyklus geosyntetik v pražcovém podloží a nakládání s nimi po skončení jejich životnosti	
Název bakalářské práce anglicky: Life cycle of geosynthetics used in the track bed and handling with them over service life termination	
Pokyny pro vypracování: Zpracujte studii zaměřenou na problematiku životního cyklu geosyntetických materiálů používaných v pražcovém podloží a na problematiku nakládání s geosyntetickými materiály po skončení jejich životnosti či využitelnosti v konstrukci pražcového podloží. Ke zpracování studie proveďte rešerši zahraničních publikačních zdrojů (některé doporučené zdroje - viz níže) a příslušných českých technických norem. Cenným přínosem by bylo získat též informace od vybraných projekčních a realizačních firem, které mají s použitím geosyntetických prvků v pražcovém podloží praktické zkušenosti.	
Seznam doporučené literatury: 1. Greenwood, Schroeder, Voskamp: Durability of Geosynthetics, 2015. 2. Koerner: Designing with Geosynthetics, 2012. 3. ČSN EN 13250 Geotextilie a výrobky podobné geotextiliím – Vlastnosti požadované pro použití při stavbě železnic, 2015.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Leoš Horníček, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 26.2.2016	Termín odevzdání bakalářské práce: 20.5.2016
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### **III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ**

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Životní cyklus geosyntetik v pražcovém podloží a nakládání s nimi po skončení jejich životnosti** zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Tato bakalářská práce slouží jako závěrečná práce studia na vysoké škole a lze ji interpretovat pouze jako teoretickou.

V Praze dne 20. 5. 2016

.....  
Lukáš Vondra

## Poděkování

Děkuji Ing. Leoši Horníčkoví, Ph.D. za jeho odborné vedení a užitečné rady při zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za jejich podporu během mého celého studia.

**ŽIVOTNÍ CYKLUS GEOSYNTETIK  
V PRAŽCOVÉM PODLOŽÍ A NAKLÁDÁNÍ S NIMI  
PO SKONČENÍ JEJICH ŽIVOTNOSTI**

LIFE CYCLE OF GEOSYNTHETICS USED IN  
THE TRACK BED AND HANDLING WITH THEM  
OVER SERVICE LIFE TERMINATION

## Anotace

Tato práce představuje základní typy geosyntetik používané v pražcovém podloží, popisuje jejich využití a technologie instalace. Dále se zaměřuje na životní cyklus geosyntetických materiálů a popisuje způsoby, jakými tyto materiály v konstrukci degradují. V poslední části se práce zabývá možnostmi nakládání s geosyntetickými materiály po skončení jejich životnosti a současně porovnává současné praktiky ve stavební praxi s požadavky společnosti na budoucí nakládání s odpady.

## Klíčová slova:

geosyntetika, geosyntetika v pražcovém podloží, geotextilie, životní cyklus geosyntetik, polymer, degradace polymerů, nakládání s odpady

## Summary

This thesis introduces the basic types of geosynthetics used in the track bed, describes their application and technologies of installation. It is focused on the life cycle of geosynthetic materials and describes the ways of their degradation. In the last part it focuses on handling with geosynthetics over service life termination and also compares the current practises of building industry with the requirements of society for future waste management.

## Key words:

geosynthetics, geosynthetics in the track bed, geotextile, life cycle of geosynthetics, polymer, degradation of polymers, waste management

# OBSAH

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>7</b>
<b>2. OBLASTI VYUŽITÍ GEOSYNTETIK.....</b>	<b>8</b>
<b>3. ROZDĚLENÍ GEOSYNTETIK .....</b>	<b>9</b>
3.1.    PODLE JEJICH FUNKCE .....	9
3.1.1.    Filtrační funkce .....	9
3.1.2.    Separační funkce .....	9
3.1.3.    Protierozní funkce .....	10
3.1.4.    Výztužná funkce .....	11
3.1.5.    Izolační funkce .....	11
3.1.6.    Drenážní funkce.....	12
3.1.7.    Ochranná funkce .....	13
3.2.    TYPY A VYUŽITÍ GEOSYNTETIK .....	14
3.2.1.    Geotextilie (GTX) .....	14
3.2.2.    Geomřížky (GGR) .....	15
3.2.3.    Geosítě (GNT) .....	16
3.2.4.    Geomembrány (GMB) .....	16
3.2.5.    Geobuňky (GCE) .....	17
3.2.6.    Geosyntetická jílová těsnění (GCL) .....	17
3.2.7.    Geokompozity (GCO) .....	18
<b>4. POLYMERY PRO VÝROBU GEOSYNTETIK .....</b>	<b>19</b>
4.1.    TYPY POLYMERŮ .....	19
4.1.1.    Polypropylen (PP) .....	19
4.1.2.    Flexibilní polypropylen (fPP) .....	19
4.1.3.    Polyetylen (PE) .....	19
4.1.4.    Polyesterery (PET) .....	20
4.1.5.    Polyvinylchlorid (PVC) .....	20
4.1.6.    Polyamidy (PA) .....	20
4.1.7.    Aramid (AR) .....	20
4.1.8.    Polyvinylalkohol (PVA).....	20
4.1.9.    Ethylen propylen dien monomer (EPDM) .....	21
4.1.10.    Ethylen interpolymery.....	21
4.1.11.    Chlorovaný polyethylen (CSPE) .....	21
4.1.12.    Bitumen .....	21
4.1.13.    Polystyren.....	21



<b>5.</b>	<b>MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI GEOSYNTETIK.....</b>	<b>22</b>
5.1.	FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI .....	22
5.2.	MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	23
5.3.	HYDRAULICKÉ VLASTNOSTI .....	23
<b>6.</b>	<b>APLIKACE GEOSYNTETIK V PRAŽCOVÉM PODLOŽÍ .....</b>	<b>24</b>
6.1.	APLIKACE GEOTEXTILIÍ .....	24
6.1.1.	<i>Práce s geotextiliemi.....</i>	<i>25</i>
6.2.	APLIKACE GEOMŘÍŽEK .....	25
6.3.	APLIKACE GEOMEMBRÁN.....	26
6.3.1.	<i>Práce s geomembránami.....</i>	<i>27</i>
6.4.	TECHNOLOGIE INSTALACE GEOSYNTETIK .....	27
6.4.1.	<i>Technologie se snášením kolejového roštu .....</i>	<i>27</i>
6.4.2.	<i>Technologie bez snášení kolejového roštu .....</i>	<i>28</i>
<b>7.</b>	<b>ŽIVOTNOST GEOSYNTETIK .....</b>	<b>29</b>
7.1.	OZNAČOVÁNÍ GEOSYNTETICKÝCH VÝROBKŮ .....	29
7.2.	ZPŮSOBY DEGRADACE GEOSYNTETIK .....	30
7.2.1.	<i>Chemická degradace.....</i>	<i>30</i>
7.2.2.	<i>Oxidace.....</i>	<i>30</i>
7.2.3.	<i>Hydrolyza .....</i>	<i>31</i>
7.2.4.	<i>Odolnost vůči povětrnosti .....</i>	<i>32</i>
7.2.5.	<i>Tečení v tahu .....</i>	<i>32</i>
7.2.6.	<i>Mechanické poškození .....</i>	<i>33</i>
7.2.7.	<i>Dynamické zatěžování.....</i>	<i>33</i>
<b>8.</b>	<b>NAKLÁDÁNÍ S GEOSYNTETIKY PO SKONČENÍ JEJICH ŽIVOTNOSTI..</b>	<b>34</b>
8.1.	ZÁKON O ODPADECH.....	34
8.1.1.	<i>Katalog odpadů.....</i>	<i>34</i>
8.1.2.	<i>Hierarchie způsobu nakládání s odpady .....</i>	<i>35</i>
8.2.	ZKUŠENOSTI FIREM Z PRAXE S NAKLÁDÁNÍM S GEOSYNTETIKY .....	36
8.3.	MNOŽSTVÍ ODPADU PRODUKOVANÉHO V ČR.....	37
8.4.	PLÁN ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY PRO OBDOBÍ 2015 – 2024 .	37
8.4.1.	<i>Směrnice Evropského parlamentu .....</i>	<i>38</i>
8.4.2.	<i>Hlavní priority odpadového hospodářství ČR .....</i>	<i>38</i>
<b>9.</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>40</b>
<b>10.</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>41</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 3.1: FUNKCE FILTRAČNÍ [2] .....	9
OBR. 3.2: FUNKCE SEPARAČNÍ [2] .....	10
OBR. 3.3: FUNKCE PROTIEROZNÍ [2] .....	10
OBR. 3.4: FUNKCE VÝZTUŽNÁ [2] .....	11
OBR. 3.5: FUNKCE IZOLAČNÍ [2] .....	12
OBR. 3.6: FUNKCE DRENÁŽNÍ [2] .....	12
OBR. 3.7: FUNKCE OCHRANNÁ [2] .....	13
OBR. 3.8: TYPY GEOTEXTILÍ [5] .....	15
OBR. 3.9: STRUKTURA GEOMŘÍŽEK [5] .....	15
OBR. 3.10: GEOSÍŤ [5] .....	16
OBR. 3.11: GEOMEMBRÁNA [5] .....	16
OBR. 3.12: GEOBUŇKA [2] .....	17
OBR. 3.13: GEOSYNTETICKÉ JÍLOVÉ TĚSNĚNÍ [8] .....	17
OBR. 3.14: GEOKOMPOZIT S DRENÁŽNÍ FUNKCÍ [5] .....	18
OBR. 3.15: GEOKOMPOZIT S VÝZTUŽNOU FUNKCÍ [5] .....	18
OBR. 6.1: JEDNOKOLEJNÁ TRAŤ V NÁSPU S GEOTEXTILÍ NA PLÁNI TĚLESA ŽELEZNIČNÍHO SPODKU [12] .....	24
OBR. 6.2: INSTALACE GEOMŘÍŽKY DO KOLEJOVÉHO LOŽE [19] .....	25
OBR. 6.3: JEDNOKOLEJNÁ TRAŤ V NÁSPU S GEOMEMBRÁNOU NA ZEMNÍ PLÁNI [12] .....	26
OBR. 8.1: MNOŽSTVÍ PRODUKOVANÉHO ODPADU V ČR [16] .....	37

# 1. ÚVOD

Jednou z oblastí, ve kterých se stavební průmysl snaží zavádět inovace, jsou bezpochyby stavební materiály. Používání nových materiálů přináší možnosti stavět trvanlivější konstrukce a dosahovat tak znatelných úspor za jejich údržbu. V zemních konstrukcích jsou přesně takovým materiálem geosyntetika.

Geosyntetické materiály jsou výrobky vyrobené ze syntetických nebo přírodních polymerů používané na kontaktu se zemínou nebo s jinými stavebními materiály. Každý výrobek je vytvořen pro určitou funkci, kterou v konstrukci plní. V oblasti železničního stavitelství jsou to zejména funkce filtrační, separační nebo výztužná.

Geosyntetika tak šetří materiál při zemních pracích, umožňují vedení trati i v nevhodných podmínkách, a díky zvýšení trvanlivosti celé konstrukce, výrazně snižují náklady na její údržbu.

Díky relativně krátké zkušenosti s používáním těchto materiálů, se však zatím nevěnovalo mnoho pozornosti jejich životnímu cyklu a nakládání s nimi po skončení jejich životnosti.

Snahou mé práce je shrnout poznatky, které byly doposud vydány o této problematice v zahraniční literatuře, a také z českých technických norem. V rámci získání informací z širšího spektra jsem také kontaktoval několik odborníků z firem, které mají praktické zkušenosti s využíváním geosyntetik v pražcovém podloží.

Nakonec se pokusím shrnout trendy v nakládání s použitím materiálem ze stavební činnosti v rámci snahy o vytvoření nové evropské recyklační společnosti a aplikovat je na využívání geosyntetických materiálů.

## 2. OBLASTI VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

International Geosynthetics Society uvádí jako hlavní oblasti využití geosyntetik tyto [1]:

- Nezpevněné cesty
- Silniční stavitelství
- Železnice
- Opěrné zdi
- Stabilizování svahů
- Náspy na měkkých půdách
- Skládky
- Čištění odpadních vod
- Vodní díla
- Odvodnění a filtrace
- Protierozní opatření
- Zemědělské stavby

V rámci této práce se budeme převážně zabývat geosyntetiky, která se využívají v železničním stavitelství a to především v konstrukci pražcového podloží. Používání geosyntetik v železničním stavitelství v ČR se řídí normou ČSN EN 13250: Geotextilie a výrobky podobné geotextiliím - Vlastnosti požadované pro použití při stavbě železnic

### 3. ROZDĚLENÍ GEOSYNTETIK

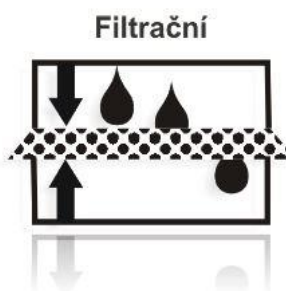
#### 3.1. Podle jejich funkce

Každé geosyntetikum plní v konstrukci jednu, nebo kombinaci více z těchto funkcí [2]:

##### 3.1.1. Filtrační funkce

Geosyntetika s filtrační funkcí plní v konstrukci stavby jednoznačnou úlohu – mají zajistit, aby částice zeminy (nebo jiné částice), na které působí hydrodynamické síly, nebyly transportovány do konstrukční vrstvy za filtrem. Zároveň ale nesmí geosyntetika významně omezovat průchod vody skrze sebe sama - mají vykazovat takovou propustnost vody kolmo ke své rovině, aby nedošlo k výraznějšímu zvýšení tlaku vody v pórech zeminy před filtrem.

K výše uvedenému účelu se nejčastěji používají netkané a tkané geotextilie. Filtrační funkce je úzce spojena s funkcí separační.

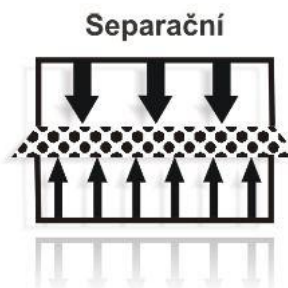


Obr. 3.1: Funkce filtrační [2]

##### 3.1.2. Separační funkce

Separační geotextilie zabraňují smísení konstrukčních vrstev odlišných vlastností. Například v železničních stavebách geotextilie oddělují hrubozrnný materiál násypu od jemnozrnné zeminy podloží nebo kolejového lože od podkladních vrstev a brání tak jejich postupnému promíchávání při hutnění a cyklickém zatěžování dopravou. Jednotlivé vrstvy si tak dlouhodobě uchovávají své návrhové vlastnosti.

Geosyntetické výrobky při zabudování do stavby plní kromě separační funkce neoddělitelně i funkci filtrační.



Obr. 3.2: Funkce separační [2]

### 3.1.3. Protierozní funkce

Protierozní funkce geosyntetik spočívá v zabránění pohybu zrn zeminy, chrání konstrukční vrstvu nebo jiné materiály před povětrnostními vlivy nebo poškozením vodou. Tato funkce bývá nejčastěji používána jako dočasná a to do doby, než dojde k uchycení přirozeného porostu.

K pohybu zrn zeminy dochází především na povrchu svahu násypu, na jeho sklon i výšku je důležité brát ohled při návrhu vhodného geosyntetika. Dalšími aspekty při dimenzování jsou charakter chráněné zemina a odolnost vůči UV záření [3].



Obr. 3.3: Funkce protierozní [2]

#### 3.1.4. Výztužná funkce

Zeminy vykazují, podobně jako například beton, relativně malou pevnost v tahu ve srovnání s pevností v tlaku. V případě železobetonových konstrukcí přenáší tahové síly ocelová výztuž, pro vyztužování zemin se v osmdesátých letech minulého století začaly používat geosyntetické výrobky, zejména pak geomřížky a výztužné tkaniny [2].

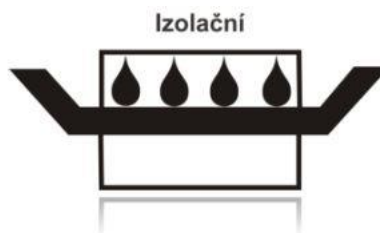


Obr. 3.4: Funkce výztužná [2]

#### 3.1.5. Izolační funkce

K hlavním úkolům geosyntetických výrobků plnících ve stavbách izolační funkci patří:

- zabránění vyluhování nebezpečných látek do životního prostředí v okolí stavby (místa pro skladování a likvidaci tuhých odpadů)
- zadržování skladovaných nebezpečných kapalin a zabránění jejich úniku do okolního prostředí (sklárky pro kapalné odpady, mezisklárky, druhotné nádrže)
- zamezení vnikání vody do konstrukcí a vnitřního prostředí tunelů a podzemních staveb
- udržování toku vody a zabránění, popř. omezení jejího prosakování mimo koryto nebo ohraničující konstrukce (kanály)
- zadržování kapalin a zabránění jejich prosakování do ohraničujících těles a konstrukcí (nádrže a hráze)
- zabránění kontaminace okolní zeminy, podzemních vod nebo vodních zdrojů (pozemní komunikace, železnice a jiné dopravní plochy) [4]



Obr. 3.5: Funkce izolační [2]

### 3.1.6. Drenážní funkce

Úkolem plošných drenážních výrobků je odvod nadbytečného množství kapalin, popř. plynů mimo konstrukce stavby nebo k místům, kde bude s tekutinami odpovídajícím způsobem naloženo.

Plošné drenážní výrobky [5]:

- rychlým a efektivním odvodem vody snižují hydrofyzikální namáhání izolačních vrstev v rámci realizací spodních částí pozemních staveb
- při realizacích zemních konstrukcí eliminují nasycení konstrukčních vrstev, které si tak z dlouhodobého hlediska uchovávají návrhové parametry
- především při rekultivacích skládek brání lokální akumulaci skládkového plynu pod těsnicí vrstvou a zajišťují jeho kontrolované odvedení
- často plní také funkci vrstvy umožňující detekci průsaku, popř. cíleně odvádí průsakové kapaliny (např. ze skládkového tělesa)



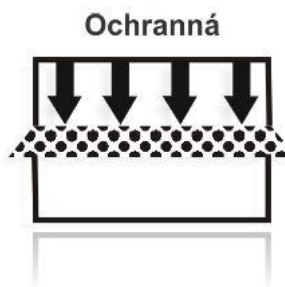
Obr. 3.6: Funkce drenážní [2]



### 3.1.7. Ochranná funkce

Při celé řadě aplikací je nutné zajistit spolehlivou ochranu instalované izolační fólie (popř. jiných vrstev). V případě geomembrán je u většiny realizací nutno fólii chránit proto, aby její případné poškození a následné průsaky nevedly k ohrožení okolního životního prostředí, u hydroizolačních fólií jde pak zejména o prevenci znehodnocení konstrukcí a vnitřního prostředí pozemních staveb.

Izolační fólie se ukládají na podkladní vrstvy různé kvality, nebo jsou nad ně instalovány materiály, které mohou obsahovat větší či menší částice kameniva s různě ostrými hranami, popřípadě po položení izolační vrstvy následují železářské práce nebo jiné stavební procesy, které mohou vést mechanickému poškození izolace. Navržená a instalovaná ochranná geotextilie proto musí vykazovat takové parametry, aby s dostatečnou spolehlivostí zajistila ochranu izolační vrstvy jak proti dynamickým a jiným vlivům při vlastním procesu pokládky vrstev nad izolační fólií, tak při statickém namáhání v průběhu návrhové životnosti díla [2].



Obr. 3.7: Funkce ochranná [2]

## **3.2. Typy a využití geosyntetik**

Podle ČSN EN ISO 10318 je geosyntetikum výrobek, u něhož je alespoň jedna složka vyrobená ze syntetického nebo přírodního polymeru ve formě folie, pásku nebo trojrozměrné struktury, používaný ve styku se zeminou a/nebo jinými materiály při zemních a stavebních pracích.

### **3.2.1. Geotextilie (GTX)**

Geotextilie tvoří jednu z největších skupin geosyntetik, která zaznamenala obrovský růst v posledních 35 letech. Jsou to textilie v tradičním slova smyslu, avšak místo přírodních vláken obsahují vlákna umělá, a proto pro ně biodegradace nepředstavuje problém [5]. Geotextilie je definována jako plošný, přírodní nebo syntetický materiál, který může být tkaný, netkaný nebo pletený, používaný ve styku se zeminou a/nebo jinými materiály při zemních a stavebních pracích [4].

#### **Tkané geotextilie (GTX-W)**

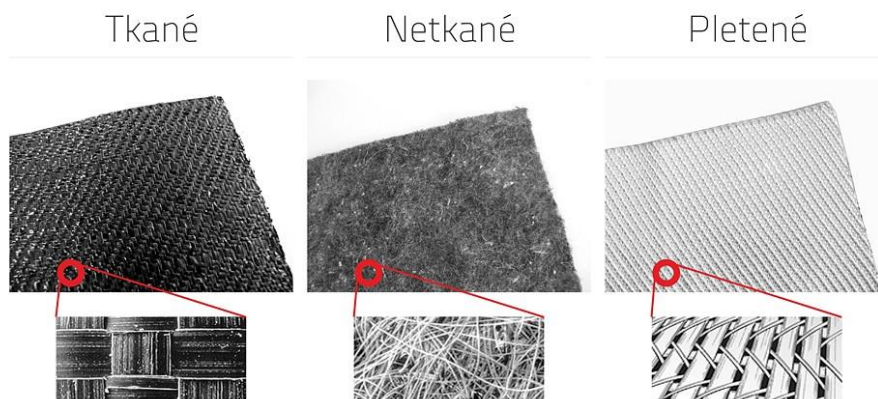
Tkané geotextilie jsou vyráběny na tkalcovském stavu ze dvou vzájemně kolmých soustav nití, pramenců nebo pásků vzájemně provázaných. Podélná soustava nití (pramenců, pásků) se nazývá osnova, příčná útek [4].

#### **Netkané geotextilie (GTX-N)**

Netkané geotextilie jsou nejznámějším typem geotextilie. Vyrábějí se zpevněním mechanickým nebo fyzikálně-chemickým způsobem, popř. jejich kombinací. Mechanického zpevnění se dosahuje tzv. vpichováním, tedy propichováním náhodně rozptýlených vláken soustavami protichůdně orientovaných speciálních jehel. Vlákná používaná pro výrobu mohou být dlouhá několik centimetrů (střižená vlákna) nebo také velmi dlouhá (nekonečná vlákna) [5].

### Pletené geotextilie (GTX-K)

Tyto geotextilie jsou vyráběny na pletacích strojích z nití nebo pramenců vytvarovaných do oček vzájemně provázaných případně s použitím dalších vazebních prvků uspořádaných do sloupků a řádků. Pokud jsou nitě (pramence) v jednom směru přímé, jedná se o geotextilii s přímo orientovanou strukturou (directly oriented structure – DOT).

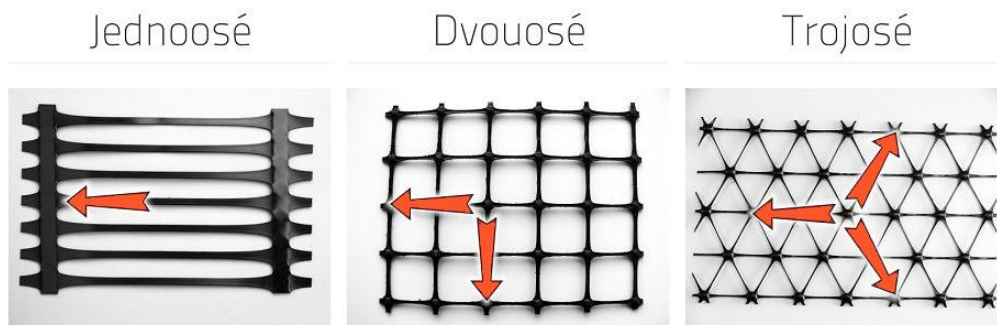


Obr. 3.8: Typy geotextilií [5]

### 3.2.2. Geomřížky (GGR)

Geomřížky jsou geosyntetický výrobek, který má rovinnou otevřenou strukturu tvořenou systémem žebér. Ta mohou být v průsečíku spojena kontinuálně, svařením, lepením anebo provázáním. Otvary geomřížek jsou obvykle o velikosti 10 – 100 mm a umožňují tak částicím zeminy/horniny nebo jiným geotechnickým materiálům proniknout skrz otvor geomřížky.

Z hlediska struktury rozlišujeme geomříže podle jejich schopnosti přenášet zatížení v jejich rovině. Podle tohoto kritéria dělíme geomřížky na jednoosé, dvouosé a trojosé (hexagonální) [5].



Obr. 3.9: Struktura geomřížek [5]

### **3.2.3. Geosítě (GNT)**

Geosítě se svojí strukturou podobají geomřížkám. Na rozdíl od nich však nemají odpovídající pevnostní vlastnosti a proto jejich hlavní použití ve stavebnictví je pro odvod kapalin či plynů. Plní tedy především drenážní funkci a velmi často v kombinaci s geotextilií vytváří geokompozit.

Geosítě se vyrábějí především z polymerů nebo přírodních materiálů. Geosítě mají pravidelnou strukturu sestávající z pravidelné husté sítě, jejíž složkové prvky jsou spojeny uzly nebo protlačováním a jejíž otvory jsou mnohem větší než složky.



Obr. 3.10: Geosítě [5]

### **3.2.4. Geomembrány (GMB)**

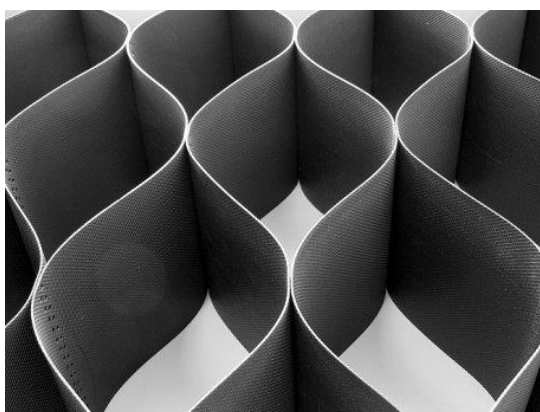
Geomembrány jsou plošné útvary ve tvaru fólie s velmi nízkou propustností vyráběné továrně ze syntetických, polymerních nebo asfaltových materiálů používané při zemních a stavebních pracích za účelem zamezení průtoku kapaliny a/nebo výparů skrz konstrukci.



Obr. 3.11: Geomembrána [5]

### **3.2.5. Geobuňky (GCE)**

Výrazem geobuňka je nazývána trojrozměrná propustná polymerní konstrukce ve tvaru včelího plástu, vyrobená z proužků fólie vzájemně spojených svařováním. Stěny geobuněk mohou být děrované pro dosažení jejich propustnosti. Geobuňky se používají pro stabilizaci, zlepšení základových podmínek, vyztužování a jako protierozní prvek např. pro zadržení částic zemin, kořenů nebo malých rostlin při zemních a stavebních pracích a především na namáhané břehy nádrží a toků.



Obr. 3.12: Geobuňka [2]

### **3.2.6. Geosyntetická jílová těsnění (GCL)**

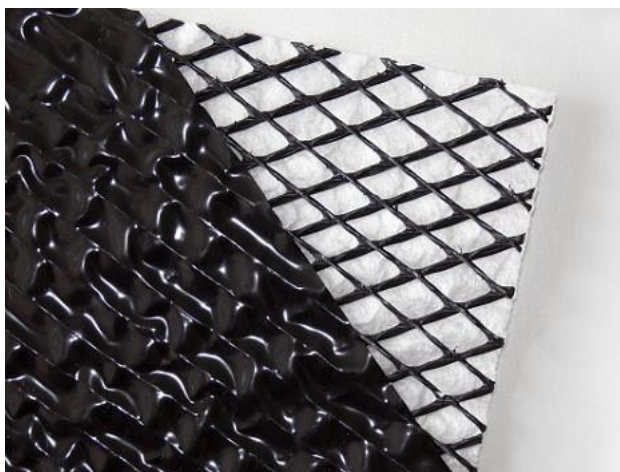
Geosyntetická jílová těsnění jsou zajímavou kombinací polymeru a přírodního zemního materiálu. Jsou to útvary vytvořené z tenké vrstvy jílového bentonitu mezi dvěma geotextiliemi nebo spojené s geomembránou. Spojení je zajištěno šitím nebo lepením. Používají se pro utěsnění dna skládek, k jejich zakrytí, k utěsnění nádrží, kanálů, tanků, biotopů, tunelů a podobně [8].



Obr. 3.13: Geosyntetické jílové těsnění [8]

### **3.2.7. Geokompozity (GCO)**

Geokompozity jsou výrobky, které kombinují vlastnosti několika geosyntetik najednou, nejčastěji geomřížek, geotextilií a případně i fólií. Mohou mít funkci drenážní, ochranou či výztužnou. Geokompozity se nejčastěji využívají pro drenážní systémy a odvodnění konstrukcí, skládky odpadů, nebo pro vyztužování a separaci konstrukčních vrstev pod násypy [5].



Obr. 3.14: Geokompozit s drenážní funkcí [5]



Obr. 3.15: Geokompozit s výztužnou funkcí [5]

## 4. POLYMERY PRO VÝROBU GEOSYNTETIK

Geosyntetika se vyrábí z termoplastických polymerů formovaných vytlačováním. Polymery jsou složeny z dlouhých řetězců molekul tvořených stejnými (homopolymery) nebo rozdílnými (kopolymery) monomery mnohokrát se opakujícími. K těmto hlavním řetězcům mohou být připojeny další krátké či dlouhé řetězce. Větší délka řetězce by měla zlepšovat mechanické vlastnosti, ale může způsobit horší zpracovatelnost polymeru [1].

### 4.1. Typy polymerů

#### 4.1.1. Polypropylen (PP)

PP je termoplastický semi-krystalický polymer používaný hlavně ve formě vláken v geotextiliích. Jeho struktura se skládá z metylových skupin připojených k hlavnímu uhlíkovému řetězci. Terciální uhlík je citlivý na oxidaci, a proto se během výroby preventivně přidávají stabilizátory, které jí brání a zároveň zlepšují dlouhodobou životnost a UV stabilitu. Komerční PP běžně obsahuje malé procento polyethylenu.

#### 4.1.2. Flexibilní polypropylen (fPP)

fPP je amorfni kopolymer propylenu a ethylenu používaný pro geomembrány. Jeho vlastnosti mohou být modifikovány v širokém rozsahu změnou molekulární struktury. Je citlivější k oxidaci UV zářením než PP a proto vyžaduje správnou stabilizaci.

#### 4.1.3. Polyetylen (PE)

PE je semi-krystalický termoplast. Jeho středně a vysokohustotní formy (PE-MD, PE-HD) jsou používány v geomřížkách a mají dobrou chemickou odolnost vůči oxidačním médiím. Lineární nízkohustotní forma (PE-LLD), používaná v geomembránách a jako povrchová vrstva geomřížek, je poddajná, lehce zpracovatelná a má dobré fyzikální vlastnosti. LLDPE je však méně chemicky odolný. PE vyžaduje stabilizaci proti zvětrávání a oxidaci.



#### **4.1.4. Polyesterery (PET)**

Polyestery jsou skupinou polymerů, ke které patří polyetylentereftalát. PET se běžně používá jako vlákna v geotextiliích a proužky v geomřížkách. Pod svojí teplotou skelného přechodu ( $T_g$  je okolo  $50^{\circ}\text{C}$ ) nabízí PET dobré mechanické vlastnosti a chemickou odolnost vůči nealkalickým prostředím. Vlákna se používají v obrovských objemech jako výztuž pneumatik pro automobily. Z finančních důvodů jsou stejná vlákna používány i v geosyntetických materiálech beze změny specifikace.

#### **4.1.5. Polyvinylchlorid (PVC)**

PVC je zástupcem skupiny polymerů na bázi vinylchloridu, který se používá v geomembránách a jako povrchová vrstva geomřížek. Původně tuhý polymer může být měkčen, čímž vzniká měkčené PVC (PVC-P). Trvanlivost PVC se velmi mění v závislosti na typu použitých stabilizátorů.

#### **4.1.6. Polyamidy (PA)**

Polyamidy jsou termoplasty používané jako vlákna v geotextiliích. Existuje několik typů v závislosti na druhu použitého monomeru. PA vlákna mají dobré mechanické vlastnosti, odolnost proti opotřebení a otěru. PA dokáže absorbovat vodu, čímž se stává flexibilnější. PA má omezenou odolnost vůči kyselinám, oxidaci, hydrolýze a zvětrávání, což se musí řešit příslušnými stabilizátory.

#### **4.1.7. Aramid (AR)**

Aramid je syntetické vlákno vyráběné z aromatických polyamidů a používáno v geotextiliích. Má velmi vysokou tuhost a pevnost, a porovnatelně nízkou hustotu a tahové dotvarování. Aramid je citlivý na UV oxidaci, absorbuje vlhkost a může být citlivý na hydrolýzu kyselinami.

#### **4.1.8. Polyvinylalkohol (PVA)**

PVA se vyrábí hydrolýzou polyvinylacetátu. Vlákna se používají v geotextiliích. PVA má vysokou pevnost a tuhost a dobrou odolnost vůči alkalickým látkám, málo koncentrovaným kyselinám a olejům.



#### **4.1.9. Ethylen propylen dien monomer (EPDM)**

EPDM je elastomer používaný v geomembránách. Skládá se z nasycených polymerických řetězců, tvořených molekulami ethyleny a propyleny. Vlastnosti EPDM jsou velmi ovlivněny poměrem obsahů jednotlivých řetězců. Stabilizátory se přidávají pro zvýšení odolnosti vůči oxidaci a UV záření.

#### **4.1.10. Ethylen interpolymery**

Ethylen interpolymery je další elastomer používaný pro geomembrány. Stabilizuje se stejně jako EPDM.

#### **4.1.11. Chlorovaný polyethylen (CSPE)**

Chlorovaný polyethylen se používá pro geomembrány a pro potrubí s horkou vodou.

#### **4.1.12. Bitumen**

Bitumen zahrnuje modifikovaný bitumen (MB) a oxidovaný bitumen, který dodává geomembránám vodotěsnost. Modifikovaný bitumen obsahuje až 25 % syntetických elastomerů, které zvyšují elasticitu, odolnost proti únavě a stárnutí. Citlivost na UV záření a oxidaci je kompenzována přidanými aditivy.

#### **4.1.13. Polystyren**

Polystyren se využívá hlavně v extrudované formě (XPS) nebo jako expandovaná geopěna (EPS). Obsahuje také stabilizátory pro zlepšení odolnosti vůči oxidaci.

## 5. MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI GEOSYNTETIK

Vlastnosti geosyntetických materiálů a metody pro jejich testování byly původně odvozeny z materiálů tvořících samotná geosyntetika, jako jsou textilie používané v oděvním průmyslu nebo plasty používané v mnoha průmyslových oblastech. Jak byly postupem času definovány a rozvíjeny funkce a použití geosyntetik, jejich složení a testovací metody byly taktéž vylepšovány, aby napomohly zajištění žádoucích vlastností v dané konstrukci.

Většina využití geosyntetik zahrnuje přepravu a skladování materiálu, stavbu v relativně složitých podmínkách a potřebu zajištění dlouhodobé životnosti, pro kterou jsou odolnost a trvanlivost geosyntetika velmi důležité. Vzhledem k relativně krátké zkušenosti s používáním geosyntetik a časovou náročností vývoje a standardizace testovacích metod je mnoho z nich stále nestandardizováno [10].

### 5.1. Fyzikální vlastnosti

Fyzikální vlastnosti geosyntetik jsou spojené se složením materiálů používaných k jejich výrobě. Mezi fyzikální vlastnosti patří struktura materiálu, objemová hmotnost, plošná hmotnost, tloušťka materiálu a jeho tuhost.

Struktura geosyntetika je nejčastěji popisována pro geomřížky a určuje pro jaké využití je daný výrobek určen. Například jednoosá geomřížka je vhodná pro použití v místech, kde očekáváme zatížení převažující v jednom směru.

Objemová hmotnost je důležitá především v případě aplikace geosyntetika pod vodní hladinou, kde materiál s objemovou hmotností nižší než  $1000 \text{ kg/m}^3$  vyžaduje zatížení pro potopení na stanovenou pozici.

Plošná hmotnost představuje hmotnost materiálu na jednotku plochy. Typické hodnoty pro geotextilie leží mezi  $130$  a  $700 \text{ g/m}^2$  pro geomřížky potom mezi  $200$  a  $1000 \text{ g/m}^2$ .

Tloušťka geosyntetika se měří jako vzdálenost od horního ke spodnímu povrchu materiálu. Pro geotextilie je tato vzdálenost měřena při specifickém tlakovém zatížení. Tloušťka geotextilií bývá od  $0,25$  do  $7,5 \text{ mm}$ , u dnešních geomembrán je potom běžná tloušťka  $0,5 \text{ mm}$  [4].

## 5.2. Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti geosyntetik jsou přímo spjaty s prostředím, ve kterém má dané geosyntetikum přenést zatížení či snést deformaci [10].

Mezi základní mechanické vlastnosti patří [11]:

- Pevnost v tahu
- Tažnost při maximálním zatížení
- Tuhost při 2 %, 5 % a 10 %
- Pevnost v tahu u švů a spojů
- Odolnost proti statickému protržení
- Odolnost proti dynamickému protržení
- Třecí vlastnosti
- Tečení v tahu
- Oděr
- Odolnost vůči poškození při pokládání
- Trvanlivost

## 5.3. Hydraulické vlastnosti

Hydraulické vlastnosti jsou důležité u geosyntetik, které jejichž úkolem je propouštět nebo zadržovat proud vody a plynů. Geotextilie, geomembrány, geosítě, geosyntetické jílové těsnění a drenážní geokompozity jsou příkladem těchto geosyntetik [10].

Mezi základní hydraulické vlastnosti patří [11]:

- Charakteristická velikost otvorů
- Propustnost vody kolmo k rovině
- Proudění vody v rovině

## 6. APLIKACE GEOSYNTETIK V PRAŽCOVÉM PODLOŽÍ

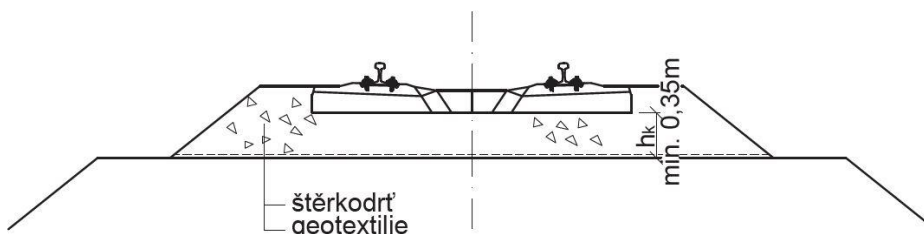
### 6.1. Aplikace geotextilií

Geotextilie jsou využívány ať už přímo pod štěrkovým ložem, tak i na rozhraních konstrukčních vrstev, nebo jako izolace přilehlého odvodňovacího zařízení.

Je takřka nemožné identifikovat jednu jedinou primární funkci geotextilie v pražcovém podloží, jelikož se vždy využívá jako kombinace několika funkcí, které závisí na místních podmínkách a také na tom, zda se jedná o novostavbu či rekonstrukci. Při uvažování všech variant může tedy geotextilie plnit některou z těchto funkcí [4]:

- Oddělení vrstvy štěrkového lože od zemní pláně při novostavbě trati
- Oddělení nové vrstvy štěrkového lože od stávající kontaminované vrstvy při rekonstrukci
- Výztuž pro zachycení příčných pohybů kolejového lože
- Filtrace pórové vody stoupající ze zemního tělesa směrem ke geotextilii způsobené zvýšením hladiny podzemní vody, nebo dynamickým zatěžováním
- Příčné odvodnění vody přitékající z horních vrstev v rovině geotextilie

#### PŘÍKLADY POUŽITÍ GEOTEXTILIÍ V KONSTRUKČNÍ VRSTVĚ TĚLESA ŽELEZNIČNÍHO SPODKU



Obr. 6.1: Jednokolejná trať v náspu s geotextilií na pláni tělesa železničního spodku [12]

### **6.1.1. Práce s geotextiliemi**

Geotextilie se expedují z výrobního závodu v rolích. Při manipulaci s nimi nesmí dojít k jejich poškození. Geotextilie musí být skladována na suchém krytém místě bez přístupu slunečního světla, aby nedošlo ke změně jejich technických vlastností. Na otevřených skládkách musí být geotextilie přikryty plachtami.

Geotextilie jsou hořlavé. Při jejich skladování je nutno dbát protipožárních předpisů a respektovat ČSN 64 0149, ČSN 73 0823, ČSN EN ISO 13 501-1 a ČSN 80 0824.

Geotextilie jsou odolné proti mrazu. Nutno je však na skládkách chránit před dešťovými srážkami, protože vodou nasáknutá geotextilie zvyšuje podstatně svou hmotnost, což značně ztěžuje pozdější manipulaci s rolí [12] [21].

## **6.2. Aplikace geomřížek**

Geomřížky se v konstrukcích pražcového podloží vyskytují velmi výrazně a jejich primární funkce je bezpochyby výztužná.

Aplikace geomřížek do konstrukčních vrstev zvyšuje jejich tuhost, což dovoluje použití menších vrstev a úsporu použitého materiálu.

Geomřížky se také často vkládají do spodní vrstvy kolejového lože. Díky dostatečně velkým otvorům geomřížky se do nich zrna kameniva zaklesnou a celá vrstva se tak stabilizuje. Touto stabilizací se prodlužuje životnost kolejového lože, což vede ke značným finančním úsporám za jeho úpravu [19].



Obr. 6.2: Instalace geomřížky do kolejového lože [19]

### 6.3. Aplikace geomembrán

Geomembrána plní v tělese železničního spodku tyto hlavní funkce, případně jejich kombinace:

- a) hydroizolační
- b) separační
- c) výztužnou

Hydroizolační funkce zamezuje působení srážkové vody na zeminu zemní pláně a tím snižování její únosnosti v období jarního tání sněhu nebo v období zvýšených dešťových srážek.

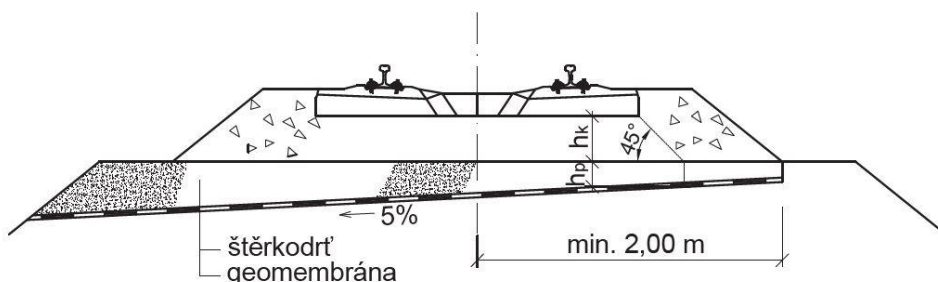
Separační funkce zamezuje promíchání dvou typů materiálů rozdílných mechanických vlastností (např. zeminy zemní pláně a materiálu podkladní vrstvy).

Výztužná funkce se uplatňuje pouze u výztužných geomembrán a zvyšuje únosnost konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku.

Geomembrána v konstrukční vrstvě tělesa železničního spodku, rozprostřená na zemní pláni, chrání zemní pláň před nepříznivými účinky srážkové vody prosakující kolejovým ložem a konstrukční vrstvou tělesa železničního spodku. Je-li použita výztužená geomembrána může její užití zvýšit únosnost konstrukce pražcového podloží.

Vhodné jsou geomembrány o tloušťce 1,0 až 1,5 mm se strukturálním povrchem, který zvyšuje tření mezi geomembránou a materiálem podkladní vrstvy. Výrobní šířka pásů geomembrány bývá 2,0 až 10,0 m [12] [21].

#### PŘÍKLADY POUŽITÍ GEOMEMBRÁN V KONSTRUKČNÍ VRSTVĚ TĚLESA ŽELEZNIČNÍHO SPODKU



Obr. 6.3: Jednokolejná trať v náspu s geomembránou na zemní pláni [12]

### **6.3.1. Práce s geomembránami**

Geomembrány se expedují z výrobního závodu v rolích. Geomembrány musí být skladovány na suchém krytém místě, na otevřených skládkách musí být přikryté plachtami. Do konstrukce železničního spodku musí být použity geomembrány odolné proti mrazu. Manipulace s geomembránami není vhodné provádět při teplotě nižší než +5 °C.

## **6.4. Technologie instalace geosyntetik**

Instalaci geosyntetik do vrstev v pražcovém podloží můžeme technologicky rozdělit na 2 hlavní kategorie:

### **6.4.1. Technologie se snášením kolejového roštu**

Pokládka konstrukčních vrstev touto technologií následuje po provedení povrchového i podpovrchového odvodnění a vytvoření zemní pláně.

Pokládka geosyntetik se provádí podle předpisu SŽDC S4 a vzorového listu Ž4. Položené geosyntetikum musí mít povrch bez záhybů, krabacení a musí být dodržen předepsaný způsob spojování.

Pokud je do pražcového podloží použita geomřížka spolu s geotextilií, je třeba jejich uložení provést tak, aby na zemní pláni ležela geotextilie a na ní geomřížka. Na pláň tělesa železničního spodku se geotextilie a geomřížky ukládají pouze výjimečně. V takovém případě musí mít tato geosyntetika vlastnosti odpovídající požadavkům technických předpisů a nad nimi vytvořené kolejové lože musí mít tloušťku min. 0,55 m.

Geobuňky se do konstrukce pražcového podloží vkládají v úrovni zemní pláně a základové spáry náspového tělesa. Zajišťují tak tedy funkci oddělovací, výztužnou a ochrannou.

Při instalaci geobuněk je nutné dbát na jejich uložení v požadované rozvinuté poloze tak, aby jejich stěny byly kolmo k úložné rovině. Při zasypávání geobuněk je nutné dbát na to, aby nedošlo k jejich zborcení. Geobuňky je nutné zásypovým materiálem přesypat cca o 25 % výšky geobuňky, pro jejich ochranu. Hutnění zásypu geobuněk je možné pouze při dostatečném přesypání tak, aby nedošlo k destrukci prostorového systému geobuněk [13].

#### **6.4.2. Technologie bez snášení kolejového roštu**

Technologie bez snesení kolejového roštu představuje zvyšování únosnosti a stability pražcového podloží vkládáním konstrukčních vrstev speciálním strojem (např. SČ 600 S, AHM 800R, KSEM, RPM 2002, PM 200 – 2R a dalších).

Pokládání konstrukčních vrstev bez snášení kolejového roštu sestává z následujících činností:

- 1) plnoprofilové čištění kolejového lože
- 2) kladení geosyntetik
- 3) zřízení konstrukční vrstvy
- 4) zřízení kolejového lože na pláni tělesa železničního spodku

Konstrukční úprava stroje nebo soupravy umožňuje kontinuální kladení geosyntetik na zemní pláň z odvíjející se role na tyči, zavěšené na rámu žlabu těžícího řetězu tohoto stroje. Délka geosyntetik v jedné roli je omezena maximálním průměrem role a určuje rozsah technologických zastávek stroje nezbytných k zasunutí nové role pod stroj a k zabezpečení kontinuálního kladení geosyntetik na zemní pláň. Překrytí pásů geosyntetik musí být min. 0,20 m v příčném směru a min. 0,50 m v podélném směru. Geosyntetika musí být vypnuta a nesmí vytvářet vlny. V obloucích je přípustné jejich přeložení. Geosyntetika se nesmí předpínat [13].



## 7. ŽIVOTNOST GEOSYNTETIK

Životnost geosyntetik stanovuje jejich výrobce na základě jejich určeného použití. Životnost musí podložena zkouškami konkrétních materiálů, při kterých se měří zbytková pevnost materiálu po určité době vystavení danému prostředí (oxidaci, hydrolýze atd.).

Takto stanovená životnost, udávaná v letech, představuje dobu, po kterou si geosyntetika ponechávají požadované vlastnosti, přičemž se předpokládá, že byla správně uložena, použita a udržována.

U geosyntetik, která vyhovují normovým požadavkům, představuje životnost minimální údaj. Skutečná životnost může být za běžných podmínek použití výrazně delší bez větší degradace, která by ovlivnila základní požadavky stanovené v nařízení o stavebních výrobcích [11].

### 7.1. Označování geosyntetických výrobků

Podle ČSN EN 13250 musí být každý geosyntetický výrobek určený pro použití při stavbě železnic opatřen označením CE. Toto označení musí být viditelně připojeno k výrobku a musí kromě samotného označení CE dále obsahovat:

- poslední dvojčíslí roku, ve kterém bylo připojeno
- jméno a registrovanou adresu výrobce
- jedinečný identifikační kód typu výrobku
- referenční číslo prohlášení o vlastnostech
- úroveň nebo třídu vlastností uvedených v prohlášení
- datovaný odkaz na použitou harmonizovanou technickou specifikaci
- identifikační číslo oznámeného subjektu
- zamýšlené použití výrobku

## 7.2. Způsoby degradace geosyntetik

V následující kapitole se zaměřím na faktory, které způsobují rozpad geosyntetických materiálů, čímž je limitována jejich životnost v konstrukcích železničních staveb. Pro zajištění maximální životnosti geosyntetik je nutné je proti těmto faktorům chránit a to během celého procesu jejich instalace i po uložení do konstrukce [1].

### 7.2.1. Chemická degradace

Geosyntetika vyrobená z polymerů obecně degradují kvůli chemickým reakcím v prostředí, ve kterém se nachází. Míra této degradace značně závisí na teplotě v tomto prostředí a dalších podmínkách.

- Mnoho reakcí probíhá na povrchu polymeru. Materiály s větší tloušťkou mají tudíž přirozeně lepší odolnost než materiály s menší tloušťkou.
- Chemické reakce pevných částic jsou obecně pomalejší než reakce, ve kterých figurují tekutiny.
- Velká povrchová plocha jemných geotextilií zvyšuje míru chemické degradace povrchu.
- Chemické reakce mohou probíhat buď v hlavním, nebo ve vedlejším řetězci polymeru. Roztržení hlavního řetězce je kritičtější, protože přímo snižuje pevnost polymeru.

### 7.2.2. Oxidace

Oxidace je reakce polymeru s molekulárním kyslíkem, která vede k degradaci geosyntetických materiálů.

Výsledkem oxidace je prolomení polymerního řetězce, které vede k okamžité ztrátě pevnosti a zvýšení počtu reaktivních skupin. Pro polymery jako PE může také dojít k dodatečné změně ve struktuře polymeru, jako je zkřížení, které vede k nárůstu molekulové hmotnosti a menší flexibilitě.

Oxidace je řetězová reakce, jejíž spuštění vyžaduje zdroj energie pro tvorbu radikálů, které spouštějí reakci. Tímto zdrojem je nejčastěji teplo, ale může to být také UV záření nebo jiné vysokoenergetické záření.

Z těchto důvodů jsou do polymerů pro výrobu geosyntetik přidávány antioxidační stabilizátory, UV stabilizátory a neutralizátory kyselin, které mají těmto reakcím předcházet.

Odolnost vůči oxidaci se testuje u výrobků sestávajících z PP a PE (polyolefinů), nebo PA, AR a PVA.

### **7.2.3. Hydrolýza**

Hydrolýza je rozkladná reakce, při které se spotřebovává voda. V porovnání s komplexním mechanismem oxidace u polyolefinů je hydrolýza polyesterů více přímočará. Na rozdíl od polyolefinů mají totiž polyestery vysokou vnitřní trvanlivost. Vlákná a pruty polyesterů se využívají v tkaných a netkaných a také v geomřížkách používaných pro výztužnou funkci.

Polyesterová vlákna degradují dvěma nezávislými mechanismy hydrolýzy. V kyselém či neutrálním prostředí, zahrnujícím vodní páry, probíhá dominantní hydrolýza průřezem daného produktu z polyesteru, což vede k progresivnímu rozpadu polymerního řetězce a následné ztrátě pevnosti vláken či prutů. Tato reakce, která bývá také označována jako vnitřní hydrolýza, je spojena s množstvím karboxylových skupin na konci polymerního řetězce. Vyšší molekulární hmotnost značí nižší počet karboxylových skupin, a tudíž vede k nižší náchylnosti na hydrolýzu.

V alkalickém prostředí nemohou agresivnější hydroxylové ionty proniknout do sktruktury polyesteru a degradace se tudíž odehrává pouze na povrchu. Tato reakce je tudíž známá jako vnější hydrolýza. Dochází při ní k odstraňování materiálu na povrchu, což také vede ke snížení pevnosti, které je úměrné změně průřezu.

V obou těchto případech dochází k napadení páteře polymeru, liší se pouze místo napadení. Výsledkem je také snížení molekulární hmotnosti. Oba mechanismy jsou aktivovány tepelně, a proto probíhají rychleji při vyšších teplotách. Při normální okolní teplotě a iontové koncentraci je však tento proces velmi pomalý.

Odolnost vůči hydrolýze se testuje u výrobků sestávajících z PET (polyesterů), PA nebo AR.

#### **7.2.4. Odolnost vůči povětrnosti**

Odolnost vůči povětrnosti značí, jak je daný materiál schopný odolávat vlivům počasí. V případě geosyntetických materiálů je myšlena především odolnost vůči UV záření, které má obecně na geosyntetika negativní účinky.

Sluneční záření je složeno z velké škály vlnových délek zhruba od 300 nm do 2500 nm. Část od 400 nm (fialové) do 800 nm (červené) je záření viditelné lidským okem, označované jako světlo. UV (ultrafialové) je záření s největší energií, které však není pro lidské oko viditelné. UV záření se rozděluje na část UV-B, s vlnovou délkou menší než 320 nm, a UV-A, s vlnovou délkou 320 až 400 nm. Množství slunečního záření závisí na zeměpisné šířce a nadmořské výšce konkrétního místa a ve střední Evropě se pohybuje mezi 3,5 GJ/m<sup>2</sup> a 4,2 GJ/m<sup>2</sup> ročně, z čehož UV záření představuje asi 6 %.

Vysoká energie jednotlivých fotonů v UV záření je schopna vyvolat změny v polymerech. Tyto změny jsou velmi komplexní, a liší se podle konkrétního polymeru. Ve většině případů vedou tyto změny k rozpadu polymerních řetězců, což má za následek snížení pevnosti vedoucí k menší efektivitě výztuže, nebo k prosakování u geomembrán. Dalším výsledkem je změna barvy materiálu, což by obecně u geosyntetik nemělo představovat problém pro použití, ale například zežloutnutí u geotextilií často značí porušení fenolických antioxidantů, které může být podstatné pro určování životnosti daného produktu.

Velmi významný je také efekt teploty, jelikož veškeré infračervené záření dopadající na geosyntetikum zvyšuje jeho teplotu, a tím značně urychluje i další degradační procesy.

Jelikož většina geosyntetik je během svého životního cyklu v konstrukci chráněna před zářením dalšími vrstvami, je nezbytně nutné především limitovat čas, během kterého jsou geosyntetika vystavena slunečnímu záření při jejich instalaci.

#### **7.2.5. Tečení v tahu**

Jednou z funkcí výztužných geosyntetik je přenášet napětí, které by samotná zemina nebyla schopna přenést, a to především napětí tahová. Při porušení výztuže může dojít až ke kolapsu celé konstrukce. Kromě porušení výztuže jednorázovým napětím, které je větší než maximální tahová odolnost

geosyntetika, může k jeho porušení dojít také z důvodu dlouhodobého napětí o menší intenzitě. Tento jev se nazývá tečení v tahu.

#### **7.2.6. Mechanické poškození**

Poškození během transportu a instalace je u geosyntetik nežádané, ale občas nevyhnutelné. Kameny a špatné zacházení mohou vyústit v řezy a trhliny, špatné pokládání může v záhybech způsobovat lokální napětí. Ačkoliv se nejedná o problémy dlouhodobé degradace, povedou tyto detaily k dřívějšímu selhání geosyntetika. Tyto poškození mohou vést ke změně hydraulických vlastností a celkově ke snížení mechanické odolnosti.

Zamezit těmto poškozením 100% nelze, ale je možno je omezit na minimální možnou míru. Důležitý je především důsledný výběr materiálu a kontrola metod použitých při instalaci geosyntetika do konstrukce.

#### **7.2.7. Dynamické zatěžování**

Při použití v železničním stavitelství je kromě statického zatížení nutno počítat i se zatížením dynamickým od projíždějící dopravy. Toto zatížení přirozeně vyvolává na konstrukci tlakové zatížení, ačkoliv na výztužná geosyntetika může toto zatížení působit tahem. Díky útlumu se toto zatížení s hloubkou zmenšuje, zatímco statické zatížení se s hloubkou zvětšuje.

Výsledek tlakového dynamického zatížení vyvolává stejné mechanické poškození jako zatížení statické. Toto zatížení může narušit filtrační či separační funkci geosyntetika a také snížit tahovou odolnost výztuže.

Výsledkem tahového dynamického zatížení přidaného ke stávajícímu statickému zatížení může být snížení odolnosti výztuže. Degradace způsobená dynamickým zatížením je také známa jako únava, vlastnost, která je velmi dobře prozkoumána v materiálovém inženýrství.

## **8. NAKLÁDÁNÍ S GEOSYNTETIKY PO SKONČENÍ JEJICH ŽIVOTNOSTI**

Stejně jako všechny ostatní prvky v konstrukcích železničních staveb, i geosyntetika mají svoji omezenou deklarovanou životnost. Při rekonstrukci podloží je pak nutné se rozhodnout, jak s daným materiálem naložit.

Specifikem geosyntetik je jejich uložení uvnitř zemního tělesa, které nám brání v kontrole jejich stavu bez zásahu do dané konstrukce. Pro zjištění stavu geosyntetika je tedy ve většině případů nutné odtěžení vrstev, které jej překrývají a následná vizuální kontrola. Geosyntetikum je poté možno ponechat v konstrukci, pokud je ve stavu, kdy je stálo schopno plnit funkce, pro které bylo navrženo, a postupy stavebních prací tomu nezabraňují. Ve všech ostatních případech je nutné geosyntetikum z dané konstrukce vyjmout a zacházet s ním jako se stavebním odpadem.

Nakládání se stavebním odpadem v České republice reguluje zákon o odpadech.

### **8.1. Zákon o odpadech**

Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb. zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje pravidla pro předcházení vzniku odpadů a pro nakládání s nimi při dodržování ochrany životního prostředí, ochrany lidského zdraví a trvale udržitelného rozvoje, při omezování nepříznivých dopadů využívání přírodních zdrojů a zlepšování účinnosti tohoto využívání. Tento zákon nařizuje zařazování všech odpadů podle Katalogu odpadů (§ 5), definuje podmínky pro označování odpadu za nebezpečný (§ 7), a také hierarchii způsobů nakládání s odpady (§ 9) [14].

#### **8.1.1. Katalog odpadů**

Podle legislativy Ministerstva životního prostředí ČR jsou původce a oprávněná osoba povinni pro účely nakládání s odpadem odpad zařadit podle § 5 a § 6 zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, pod katalogová čísla stanovená ve vyhlášce 381/2001 Sb. (Katalog odpadů). Katalogové číslo odpadu se skládá

ze třech dvojčíslí. První dvojčíslí označuje skupinu odpadů, druhé dvojčíslí označuje podskupinu odpadů a třetí dvojčíslí druh odpadu.

Podle tohoto katalogu náleží všechny odpady ze stavební činnosti do skupiny: **17 - Stavební a demoliční odpady (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst).**

Geosyntetika, se kterými se má nakládat jako s odpadem, potom spadají do konkrétní kategorie: **17 01 03 Plasty** [15]

### **8.1.2. Hierarchie způsobu nakládání s odpady**

V rámci odpadového hospodářství musí být dodržována tato hierarchie způsobu nakládání s odpady [14]:

#### **a) předcházení vzniku odpadů**

Naprosté eliminace odpadů při stavební činnosti nelze dosáhnout nikdy. Je však možno snížit jeho množství na nezbytné minimum, a to především kvalitní projektovou přípravou, správným skladováním výrobků a důsledným dodržováním technických postupů při instalaci geosyntetik.

#### **b) příprava k opětovnému použití**

V případě geosyntetik v pražcovém podloží je opětovné využití velmi problematické, a to především z legislativního hlediska. Každý geosyntetický výrobek určený pro použití v železniční konstrukci musí splňovat kritéria daná normou ČSN EN 13250+A1 (především pak materiálové charakteristiky podložené zkouškami), která však u již použitého výrobku nikdo garantovat nemůže. I když je tedy daný výrobek po vyjmutí z konstrukce nepoškozen a zachovává si svoje vlastnosti, je nutné s ním zacházet jako s odpadem.

#### **c) recyklace odpadů**

Recyklace odpadů je obecně směr, kterým se snaží jít všechny vlády zemí EU (díky jednotné koncepci), a minimalizovat tak nutnost využívání nových přírodních zdrojů. Ačkoliv jsou polymery pro výrobu geosyntetik uměle vytvořené látky, prvotní surovinou pro jejich výrobu je ropa, jejíž těžba velmi

zatěžuje životní prostředí a navíc se její zásoby na Zemi značně zmenšují. V současnosti je na výrobu plastů užito kolem 4 % celkové produkce ropy, což by se mohlo zdát jako malé množství. Musíme však vzít v potaz, že se ročně vyrobí desítky milionů tun plastů, a to znamená i nemalé množství ropy, nemluvě o spotřebě chemických aditiv.

#### **d) jiné využití odpadů, například energetické využití**

V případě, že není možno daný geosyntetický materiál recyklovat, vždy by měla být zvážena možnost jeho energetického využití před možností uložení na skládku. K energetickému využití dochází nejčastěji ve spalovnách. Při spalování odpadů se získává energie ve formě tepla, která je dále využívána ať už v průmyslových podnicích či domácnostech.

#### **e) odstranění odpadů**

K odstranění odpadu skládkováním, by se mělo přikročit až jako k poslednímu možnému řešení. U nakládání s geosyntetickými materiály to platí dvojnásob, jelikož jejich rozpad na skládce může trvat až několik tisíc let.

### **8.2. Zkušenosti firem z praxe s nakládáním s geosyntetiky**

V rámci zpracování této práce jsem také formou dotazníku kontaktoval odborníky celkem z pěti společností, které se zabývají ať už výrobou geosyntetik, tak i stavební a konzultační činností v železničním stavitelství, nebo dozorem z pohledu investora. Pokusím se zde teď shrnout jejich zkušenosti a poznatky.

Všichni dotazovaní se rozhodovali o naložení s geosyntetik podle jeho skutečného fyzického stavu po odkrytí během rekonstrukce. V případě, že bylo rozhodnuto, že může dané geosyntetikum dále plnit v konstrukci svoji funkci, bylo v konstrukci nadále ponecháno. Ve většině případů, však bylo rozhodnuto s geosyntetikum zacházet jako s odpadem, a to jak z důvodu jeho značné degradace, tak z technologických důvodů, kdy muselo být odstraněno s jinou vrstvou.



Při následném nakládání s geosyntetikem, jako s odpadem, bylo vždy rozhodnuto o jeho umístění na skládku.

### 8.3. Množství odpadu produkovaného v ČR

Všechny odpady	PRODUKCE	VYUŽITO	Z toho MATERIÁLOVĚ VYUŽITO	Z toho ENERGETICKY VYUŽITO	ODSTRANĚNO	Z toho SKLÁDKOVÁNÍM	JINÉ NAKLÁDÁNÍ
Rok 2009	32,3 mil. t	74,5%	72,5%	2,0%	15,0%	15,0%	10,5%
Rok 2010	31,8 mil. t	73,5%	71,0%	2,5%	13,5%	13,5%	13,0%
Rok 2011	30,7 mil. t	78,0%	75,0%	3,0%	13,0%	12,0%	9,0%
Rok 2012	30 mil. t	79,0%	75,5%	3,5%	13,0%	13,0%	8,0%
Rok 2013	30,6 mil. t	79,5%	76,0%	3,5%	11,0%	11,0%	9,5%
Rok 2014	32 mil. t	83,0%	79,5%	3,5%	10,0%	10,0%	7,0%

Obr. 8.1: Množství produkovaného odpadu v ČR [16]

Z obrázku 8.1 je patrné, že celková roční produkce odpadu v ČR v posledních letech stagnuje kolem 30 mil. t. Velký vliv na celkovou produkci odpadu má stavební činnost, ze které např. v roce 2012 pocházelo 57,7 % všech vyprodukovaných odpadů.

Pozitivním trendem je zvyšující se míra využitelnosti těchto odpadů, která se za posledních 6 let zvýšila o 10 procentních bodů.

Energetické využívání odpadů z celkové produkce odpadů je nízké, v celém sledovaném období se pohybuje okolo 3 %.

Podíl všech odpadů odstraněných skládkováním z celkové produkce odpadů se od roku 2009 snížil z původních 15 % na 10 % v roce 2014, tedy poklesl cca o 5 procentních bodů. I přesto je však nadále ukládání odpadů v úrovni nebo pod úrovní terénu (skládkování) nejčastějším způsobem odstraňování odpadů v roce 2014 a jeho podíl výrazně převyšuje evropský průměr.

### 8.4. Plán odpadového hospodářství České republiky pro období 2015 – 2024

Strategie a priority dalšího rozvoje odpadového hospodářství jsou dány rámcově politikou životního prostředí ČR, evropskými požadavky, závazky ČR,

praktickými potřebami vyplývajícími ze stávajícího stavu odpadového hospodářství v ČR a snahou přiblížit se evropské recyklační společnosti [16].

#### **8.4.1. Směrnice Evropského parlamentu**

Směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 98/2008 ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech je hlavním dokumentem, kterým Evropská unie vydává opatření na ochranu životního prostředí a lidského zdraví předcházením nepříznivým vlivům vzniku odpadů a nakládání s nimi. Touto směrnicí se, jako členská země EU, musí řídit i Česká republika, a vychází z ní tedy i současná odpadová politika ČR a nově vytvořený plán odpadového hospodářství pro období 2015 – 2024 [17].

#### **8.4.2. Hlavní priority odpadového hospodářství ČR**

V rámci strategie České republiky pro nakládání s odpady bylo vytyčeno celkem 11 prioritních cílů, které by měli být naplněny v následujícím období. Mezi cíle, které přímo ovlivňují používání geosyntetických materiálů a nakládání s nimi po skončení jejich životnosti, patří především tyto:

- Předcházení vzniku odpadů a snižování nebezpečných vlastností odpadů.
- Opětovné použití výrobků s ukončenou životností.
- Kvalitní recyklace a maximální využití vhodných odpadů (materiálové, energetické, biologické) a to především ve vazbě na průmyslové segmenty v regionech (zemědělství, energetiku, stavebnictví).
- **Zásadní omezení skládkování na území ČR**

Podle ředitele Odboru odpadů MŽP Jaromíra Manharta chystá Ministerstvo životního prostředí v připravované novele zákona výrazné zvýšení poplatků za uložení odpadů na skládkách, z dnešních 500 Kč/t se v roce 2018 (kdy měl nový zákon začít platit)

poplatek navýší na 800 Kč/t a bude se nadále progresivně zvyšovat až na 1850 Kč/t odpadu v roce 2023.

V oblasti stavebních a demoličních odpadů byl určen cíl zvýšit do roku 2020 nejméně na 70 % hmotnosti míru přípravy k opětovnému použití a míru recyklace stavebních a demoličních odpadů.

Jedním z opatření, která mají přispět k tomuto cíli, bude také povinnost zajistit používání recyklátů splňujících požadované stavební normy, jako náhrady za přírodní zdroje, v rámci stavební činnosti financované z veřejných zdrojů, pokud je to technicky a ekonomicky možné.

Jelikož naprostá většina stavební činnosti v železničním stavitelství je financována právě z veřejných zdrojů, bude se tato povinnost týkat i používání recyklátů ze stávajících geosyntetických výrobků [16].

## 9. ZÁVĚR

Používání geosyntetik má v konstrukcích pražcového podloží svoje silné místo. Jejich funkce jsou jasně definovány, a u naprosté většiny rekonstrukcí i konstrukcí nových tratí, přináší použití geosyntetik možnost, jak značně vylepšit vlastnosti celé konstrukce a ušetřit nemalé finanční zdroje.

Během rešerše zahraničních zdrojů a souvisejících českých technických norem jsem došel k závěru, že faktory které ovlivňují životnost geosyntetik jsou dostatečně prozkoumány. Tyto faktory jsou také reflektovány v požadavcích na výrobky z geosyntetických materiálů, které je možno v železničním stavitelství použít. Při používání geosyntetik je tedy, pro zachování jejich požadované životnosti, především nutné se zaměřit na jejich správné skladování a transport a také na striktní dodržování postupů stavebních prací při jejich instalaci.

V případě problému, nakládání s geosyntetiky po skončení jejich životnosti, bude nutné brát v potaz nový celoevropský směr nakládání s odpady. Na příkladu praktik ze současné praxe je jasně vidět, že se stavební firmy budou muset mnohem více soustředit na separaci jednotlivých materiálů při jejich odstraňování z konstrukcí, a místo standardního posílání těchto materiálů na skládku se mnohem více zaměřit na jejich recyklaci. Zároveň se nevyhnutelně bude muset začít využívat i výrobků z recyklátů. Pro umožnění tohoto kroku bude také patrně nutné upravit příslušné české technické normy, které používání geosyntetických výrobků z recyklátů zatím značně omezují.

Geosyntetika budu mít tudíž v konstrukcích pražcového podloží svoje silné místo i v budoucnu. Pro přiblížení se evropské recyklační společnosti však budeme muset značně změnit způsoby zacházení s nimi v případě nutnosti jejich odstranění.

## 10. LITERATURA

[1] GREENWOOD, John H., Hartmut F. SCHROEDER a Wim VOSKAMP. *Durability of Geosynthetics: Second Edition*. 2nd edition. CRC Press, 2016. ISBN 9789053675991.

[2] Funkce geosyntetik. *Geosyntetika Juta* [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.juta.cz/vyrobní-programy/geosyntetika/funkce.html>

[3] KOLKOVÁ, Nela, *Využití geosyntetik v silničním stavitelství*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, 2012. 64 s.

[4] KOERNER, Robert M. *Designing with geosynthetics*. 6th ed. Xlibris Corp., 2012. ISBN 9781462882908-2.

[5] Výrobky Geomat. Geomat [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.geomat.cz/chci-vyrobky/>

[6] GEOSYNTETIKA: funkce, popis, terminologie, symboly. 2. vydání. 2011. ISBN 978-80-903675-4-8.

[7] Geosynthetics Classification. *International Geosynthetics Society CZ* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.igs.cz/pdf/Classification.pdf>

[8] Bentonitové rohože. *Marcador - produkty* [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.marcador.cz/index.php/produkty/bentonitove-rohoze>

[9] *Geotextile fabric* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.geotextile-fabric.com/>

[10] SARSBY, R.W. *Geosynthetics in civil engineering*. Boca Raton [etc.]: CRC Press, 2006. ISBN 9781855736078.

[11] ČSN EN 13250+A1. *Geotextilie a výrobky podobné geotextiliím – Vlastnosti požadované pro použití při stavbě železnic*. 2015.

[12] *Předpis SŽDC S4: Železniční spodek*.

[13] *Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah: 6 Konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku*. Dostupné také z: [http://typdok.tudc.cz/Files/TKP/TKP\\_3\\_SeznamKapitol.htm](http://typdok.tudc.cz/Files/TKP/TKP_3_SeznamKapitol.htm)

- [14] Zákon o odpadech. In: Sbírka zákonů. Ministerstvo životního prostředí, ročník 2001, číslo 185. Dostupné také z: [http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/%24file/Z%20185\\_2001.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/%24file/Z%20185_2001.pdf)
- [15] Vyhláška č. 381/2001 Sb.: Katalog odpadů. Ministerstvo životního prostředí. Dostupné také z: [http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/744B4ECF4745BE95C12570060044610A/%24file/V%20381\\_2001.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/744B4ECF4745BE95C12570060044610A/%24file/V%20381_2001.pdf)
- [16] Plán odpadového hospodářství České republiky pro období 2015 – 2024. In: Sbírka zákonů. Ministerstvo životního prostředí, ročník 2014, částka 141, číslo 352. Dostupné také z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh\\_cr\\_prislusne\\_dokumenty/\\$FILE/OODP-POH\\_CR\\_2015\\_2024\\_schvalena\\_verze\\_20150113.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh_cr_prislusne_dokumenty/$FILE/OODP-POH_CR_2015_2024_schvalena_verze_20150113.pdf)
- [17] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES): o odpadech a o zrušení některých směrnic. In: ročník 2008, číslo 98. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:CS:PDF>
- [18] *Tensar: Mechanical stabilisation of track ballast and sub-ballast* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://d6cbwp89cp4qo.cloudfront.net/documents/Tensar-Railways-Brochure-03-13.pdf>
- [19] *Contech: The Use of Geogrids in Railroad Applications* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [http://www.conteches.com/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?command=core\\_download&entryid=4571&language=en-US&PortalId=0&TabId=144](http://www.conteches.com/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?command=core_download&entryid=4571&language=en-US&PortalId=0&TabId=144)
- [20] INDRARATNA, B., H. KHABBAZ, W. SALIM a D. CHRISTIE. *Geotechnical properties of ballast and the role of geosynthetics in rail track stabilisation* [online]. Faculty of Engineering, University of Wollongong, Australia [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://ro.uow.edu.au/cji/viewcontent.cji?article=1402&context=enqpapers>
- [21] INDRARATNA, B., H. KHABBAZ a W. SALIM. *Stabilisation of granular media and formation soil using geosynthetics with special reference to railway engineering* [online]. Faculty of Engineering, University of Wollongong, Australia, 2007 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://ro.uow.edu.au/cji/viewcontent.cji?article=1408&context=enqpapers>